

## 次世代型アルコール混合燃料を用いた小型ガソリン 機関の排気特性

著者	中山 慎之介
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	62
ページ	1-5
発行年	2021-03-24
URL	<a href="http://doi.org/10.15002/00023893">http://doi.org/10.15002/00023893</a>

# 次世代型アルコール混合燃料を用いた 小型ガソリン機関の排気特性

EMISSION CHARACTERISTICS OF SMALL GASOLINE ENGINE  
BY USING BLENDED FUEL OF NEXT-GENERATION TYPE ALCOHOL

中山慎之介

Shinnosuke NAKAYAMA

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

It is known that gasoline is multicomponent fuel, and the component proportion of gasoline varies depending on the extraction time of crude oil and the production country. Of course, it have effects on the engine performance and emission on a little. Our previous research showed the effects of fuel properties on the emission characteristics(CO, HC, NOx, etc.) by using surrogate fuel for small gasoline engine. These points, this experiment has been carried out to examine the effects of fuel property and addition ratio on the emission characteristics by using base fuel consisted of Iso-Octane and Toluene, and blended fuel of Ethanol, 1-Propanol or 1-Butanol for small gasoline engine. The main conclusions are as follows;

- 1) It is possible to reduce CO and HC emissions at the same time by addition of Ethanol, 1-Propanol and 1-Butanol for small gasoline engine.
- 2) There is the most suitable condition of ratio by addition of lower alcohol fuel for small gasoline engine.

**Key Words :** Gasoline, Fuel property, Emission characteristics, Ethanol, 1-Propanol, 1-Butanol

## 1. 緒論

現在, 世界で広く用いられているガソリンは多成分系炭化水素燃料であり, 原油の採掘時期や生産国によって含有成分の割合が変動し, 燃料性状が変化する<sup>(1)</sup>. また, ガソリンは規格によって, 夏季用と冬季用で定められている規定蒸気圧が異なる. これは気温の違いによるエンジン燃焼室内における燃料の蒸発量の差異を小さくするためであるが, 蒸気圧を調整するために内部成分を変化させる必要があることから, 他の燃料性状に影響を及ぼすと考えられる. また, この変化によって燃焼後の排気成分割合や出力性能への影響も考えられる<sup>(2)</sup>. このことから, 燃料性状が排気特性に及ぼす影響を正確に把握するために, ガソリンを模擬し数種類の成分で構成された単純な燃料である, サロゲート燃料(モデルガソリン)を用いての検討が数多く行われている.

本研究では, 先行研究で得られた燃焼特性に関する結果<sup>(3)</sup>に基づき, 次の段階として, 燃焼生成物低減に対する有用性が明らかになったエタノールに加え, 同様のアルコール類で, エタノールと比較して炭素数が多く, 発熱量の高い 1-プロパノール及び 1-ブタノールに着目し,

エタノール, 1-プロパノール及び 1-ブタノールを基準燃料に添加した場合の, 小型ガソリン機関における排気特性に及ぼす添加率及び混合割合等の影響について検討を行った.

## 2. 実験装置及び実験方法

### (1) 実験装置

本実験で用いた実験装置の概略図を Fig.1 に示す. また, 供試機関として用いた 4 サイクル空冷単気筒エンジン(ヤマハ発動機株式会社製 EF900FW)の諸元を Table 1 に示す. 総排気量が 79cc の小型ガソリン機関であり, OHV 方式のバルブ機構を有する. 負荷制御には, ヒータを用い 0W, 100W, 300W, 450W, 700W の 5 段階の負荷に設定した. 燃料は 100ml の注射筒からキャブレターに供給される. 排出ガス測定は, エンジン排出ガス分析計 (AVL 社製 Di-com4000) を使用した. 排出ガスは排気管から直接分析計に送るための経路が接続され, 測定に十分な流量が確認されている. また測定項目は HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NOx で, 測定値から算出された空気過剰率  $\lambda$  も分析計に表示することが可能である.

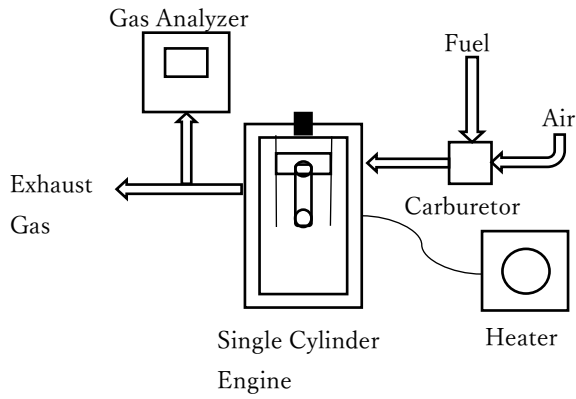


Fig.1 Experimental Apparatus

Table 1 Engine Specification

Engine Type	EF900FW
Cylinder Number	Single Cylinder
Ignition System	C.D.I
Cooling System	Air-cooling
Valve System	OHV
Displacement	79mL

## (2) 試験燃料

本研究では、試験燃料の燃料性状を明確にするために、基準となるベース燃料とアルコール系単一燃料の混合燃料を用いた。汎用ガソリンに含まれる成分を考慮し、二種類の主成分燃料を選定し、混合させて基準混合燃料とした。試薬としてはベース燃料を構成するイソオクタン、トルエンに加え、アルコール系燃料としてエタノール、1-プロパノール、1-ブタノールの計5種類を用いた。各試薬と組成式についてTable 2に示す。試薬はすべて炭化水素化合物で、95%以上の純度を有している。混合燃料について、イソオクタンとトルエンが2:1の割合で混合されたベース燃料に、それぞれエタノール、1-プロパノール及び1-ブタノールの割合を調整した試験燃料を作成した。各燃料については、それぞれ燃料の頭文字をとり、便宜上ITE、ITP及びITB(添加割合 vol%)と表記する。これらの燃料は、試薬ごとに予め設定した体積割合で金属皿に入れ、攪拌機上で約5分程度攪拌させて試験燃料とした。各燃料の混合割合をTable 3に示す。ITは先述のベース燃料となっており、そのベース燃料にそれぞれのアルコール系燃料を全体積の25%、40%、45%、50%の混合割合としたITE、ITP、ITB燃料を用意した。本実験範囲内においては、短時間の燃料分離は観察されていない。

Table 2 Fuel Components

Chemical Name	Molecular Formula	Comment
Iso-Octane	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	Side chain Alkane
Toluene	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	Aromatic
Ethanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	Alcohol
1-Propanol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	Alcohol
1-Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	Alcohol

Table 3 Components and Proportion of Model Fuels

	Iso-Octane	Toluene	Ethanol	1-Propanol	1-Butanol
IT	2	1	0	0	0
ITE25	2	1	1	0	0
ITE40	2	1	2	0	0
ITE45	2	1	2.5	0	0
ITE50	2	1	3	0	0
ITP25	2	1	0	1	0
ITP40	2	1	0	2	0
ITP45	2	1	0	2.5	0
ITP50	2	1	0	3	0
ITB25	2	1	0	0	1
ITB40	2	1	0	0	2
ITB45	2	1	0	0	2.5
ITB50	2	1	0	0	3

また、各試薬の単成分および混合燃料のH/C比をTable 4に示す。H/C比とは燃料中の水素と炭素の比のことであり、エネルギーの分野において極めて重要な指標の1つである。H/C比は燃焼後の排出ガスに影響を与えられとされており、本研究でもその点について着目する。各成分の水素量、炭素量から試験燃料のH/C比を計算した。

Table 4 H/C Ratio of Model Fuels

Symbol	H/C ratio(-)	Symbol	H/C ratio(-)
Iso-Octane	2.250	ITE50	2.266
Toluene	1.143	ITP25	1.973
Ethanol	3.000	ITP40	2.088
1-Propanol	2.667	ITP45	2.132
1-Butanol	2.500	ITP50	2.170
IT	1.802	ITB25	1.950
ITE25	2.011	ITB40	2.046
ITE40	2.157	ITB45	2.083
ITE45	2.216	ITB50	2.114

## (3) 実験方法

本実験は、実験開始時に供試機関を無負荷状態にてガソリンを用い、約15分程度暖機運転を行った。その後、

無負荷状態のまま測定する燃料に切り替えて運転し、排ガス測定器の測定値が定常状態になったことを確認した後、各負荷に調整して測定を開始した。測定には燃料の供給ライン上に 100ml の注射筒を設置し、燃料液面が注射筒の標線 10ml 分を通過する間に 5 回の排ガス成分を記録し、結果にはその平均値を使用した。測定終了後は再びガソリンを用い、負荷を徐々に下げながら約 15 分程度冷機運転を行った後、実験を終了した。

### 3. 実験結果及び考察

#### (1) CO 排出について

ベースとなる燃料に、それぞれ異なる添加割合のエタノール、1-プロパノール及び1-ブタノールを加えた混合燃料における CO 排出濃度をそれぞれ Fig.2, Fig.3, Fig.4 に示す。エタノール、1-プロパノール及び1-ブタノール添加率の増加に伴って、どの機関負荷においても CO 排出濃度は若干の変動はあるものの減少していることがわかる。これは燃料中の酸素分子が反応し燃焼が促進されることで、未燃成分である CO が低減したと考えられる。さらに、アルコール系燃料は他の炭化水素燃料と比較して H/C 比が高く、反応に寄与する炭素数が少ないことも、CO 排出濃度低減の要因として考えられる。本実験範囲内では、ITE25 と ITE40 による排出濃度の違いが顕著に観察された。一方で、添加率を増大させた ITE45 および ITE50 においては、各負荷における機関回転数の安定的な維持が困難になり、それに伴う不完全燃焼により、負荷が 450W において CO 排出量が増加する結果が確認された。さらに、1-プロパノールを用いた場合、ITP25 の 450W 負荷においても回転数が不安定になる現象が発生し、同様の理由による CO 排出濃度増加が一部確認された。

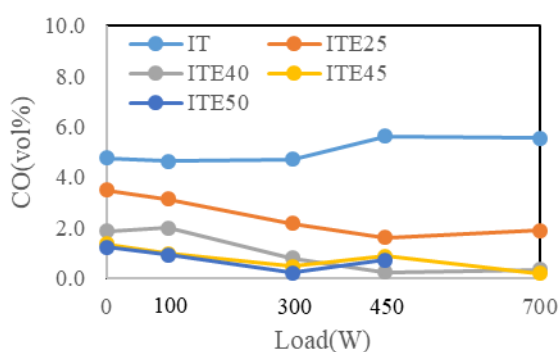


Fig.2 CO Emission(ITE)

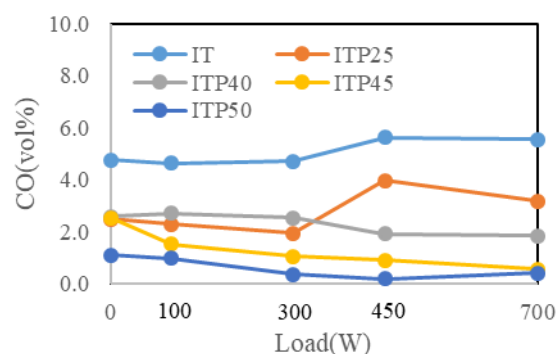


Fig.3 CO Emission(ITP)

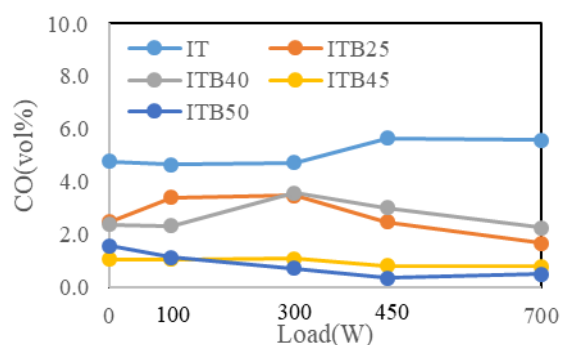


Fig.4 CO Emission(ITB)

#### (2) HC 排出について

エタノール、1-プロパノール及び1-ブタノールを加えた混合燃料における HC 排出量をそれぞれ Fig.5, Fig.6, Fig.7 に示す。先の CO 排出濃度と同様に、エタノール、1-プロパノール及び1-ブタノール添加率の増大に伴って、HC 濃度の排出低減効果が観察された。これも、先の CO 排出量と同様の理由で、未燃成分である HC が低減したと考えられる。これにより、小型ガソリン機関においては、機関負荷の調整により、エタノール、1-プロパノール及び1-ブタノール添加により未燃成分である CO および HC の同時低減が可能であると考えられる。ただし、エタノール混合燃料に関しては CO と比較して機関負荷による変動割合が著しく増加しており、ITE50 においては、ITE25 と比較して、機関負荷 300W においては最大 100ppm 程度の排出濃度の減少が観察された。また、1-プロパノール及び1-ブタノール混合燃料については、40%と45%の混合割合における排出量の差が顕著に確認されたことから、機関によって未燃成分低減に対する最適な添加割合が存在することが示唆される。

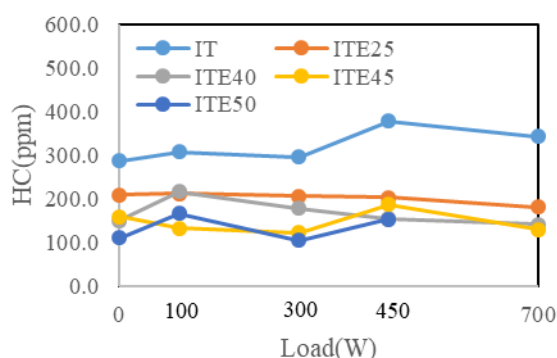


Fig.5 HC Emission(ITE)

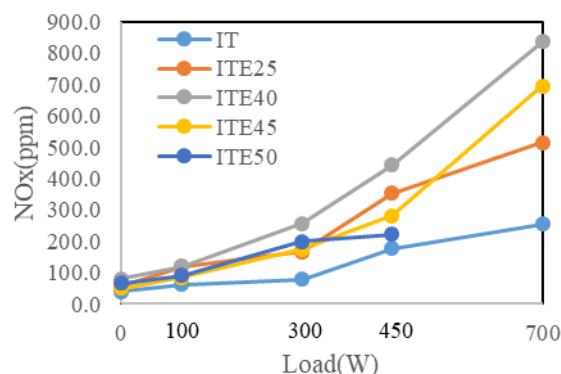


Fig.8 NOx Emission(ITE)

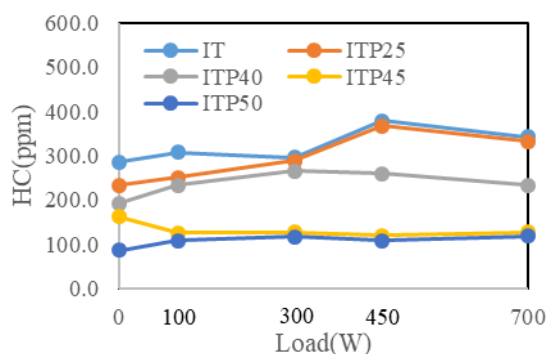


Fig.6 HC Emission(ITP)

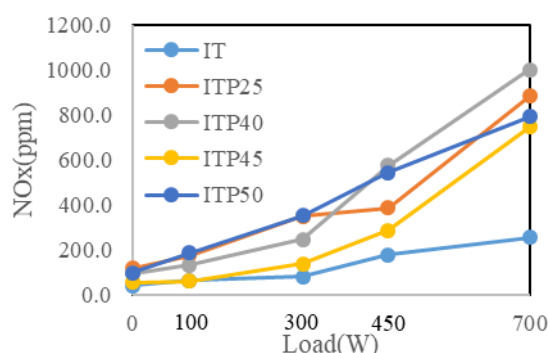


Fig.9 NOx Emission(ITP)

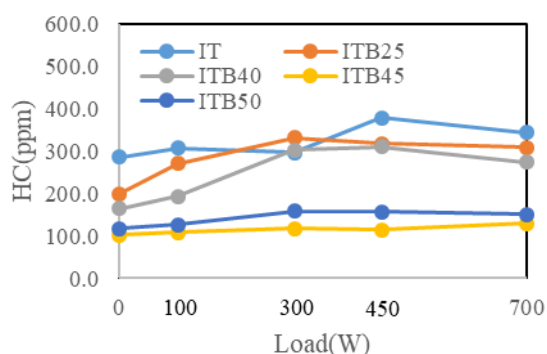


Fig.7 HC Emission(ITB)

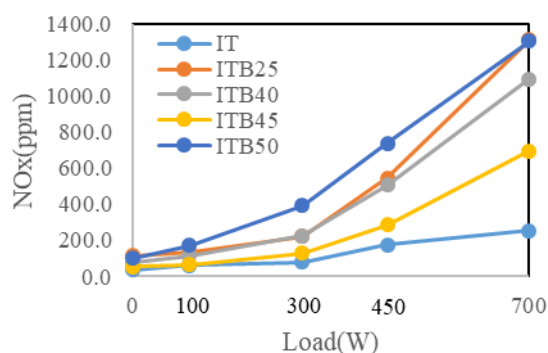


Fig.10 NOx Emission(ITB)

### (3) NOx 排出について

エタノール、1-プロパノール及び1-ブタノールを加えた混合燃料における NOx 排出量をそれぞれ Fig.8, Fig.9, Fig.10 に示す。NOx 濃度については、ITE40 では、他の添加率と比較して特に中、高負荷領域において、排出濃度の増加が確認された。また、どの混合燃料においても、イソオクタン-トルエンのベース燃料と比較すると NOx 排出量が増大し、特に中、高負荷領域における著しい増加が確認された。これは、NOx の排出がサーマル NOx に起因すると考えると、機関内の燃焼温度がアルコール系燃料の添加により増大しているためと考えられるが、著者らの先行研究におけるエタノール添加による燃焼温度、および排気温度の増大は観察されておらず<sup>(4)</sup>、また本実験において筒内温度、排気温度等の測定は行っていないため、今後の検討課題とする。

### (4) 各アルコール系燃料添加における比較

エタノール添加、1-プロパノール添加及び1-ブタノール添加による燃焼生成物の低減効果を検討するために、ITE40, ITP40 と ITB40 の結果を比較したグラフを Fig.11, Fig.12 に、ITE50, ITP50 と ITB50 の結果を比較したグラフを Fig.13, Fig.14 にそれぞれ示す。添加割合 40vol%の混合燃料では、CO, HC ともに多少の変動はあるもののエタノール、1-プロパノール、1-ブタノール添加の順に排出量が低減していることが確認できる。これは、燃料分子中の水素および炭素数が小さいことから、未燃成分発生に寄与する水素、炭素が少なくなることが原因と考えられる。これにより、燃焼生成物低減には、エタノール、1-プロパノール、1-ブタノールの順に適しているといえる。一方で、添加割合 50%の混合燃料では、先の燃料と同様に、炭素数の小さい 1-プロパノール混合燃料は 1-

ブタノール混合燃料と比較して CO, HC 排出量が低減しているが、エタノール混合燃料に関しては、負荷により、排出量が一部増大している。これは先述と同様に不安定燃焼に起因するものと考えられる。また、本実験範囲内においては、出現頻度は低いものの、1-プロパノール混合燃料を用いた場合も同様の不安定燃焼の傾向が観察されていることから、低級アルコール燃料を高添加する場合には、機関負荷による燃焼安定性の継続的な観察が必要であることを明記しておく。ここで、本装置では燃料噴射条件の制御を行っておらず、燃料噴射時期の遅角等による燃焼改善に関する検討は行っていない。ただし、小型ガソリン機関の特性を踏まえると、エタノール、1-プロパノールおよび1-ブタノールの混合燃料を用いることにより、十分、実機への対応が可能と考えられる。今後、より詳細な各燃料の混合割合の燃焼特性に及ぼす影響を検討する予定である。

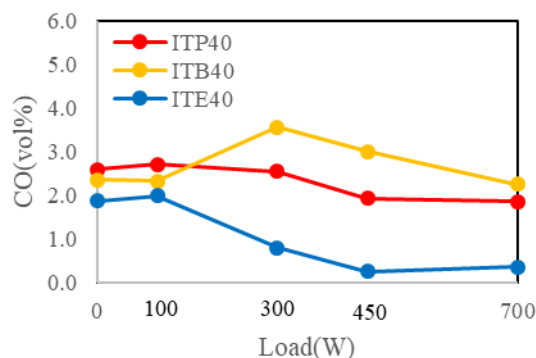


Fig.11 CO Emission(ITE40, ITP40, ITB40)

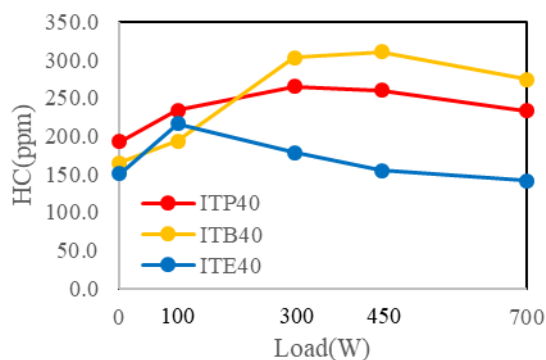


Fig.12 HC Emission(ITE40, ITP40, ITB40)

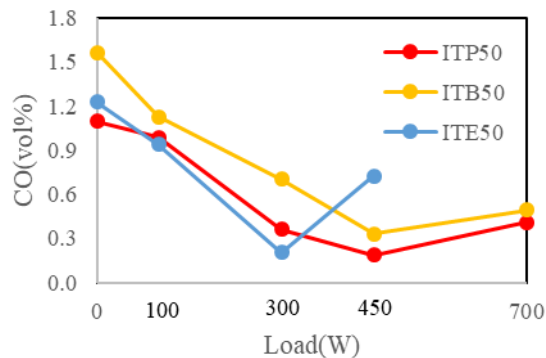


Fig.13 CO Emission(ITE50, ITP50, ITB50)

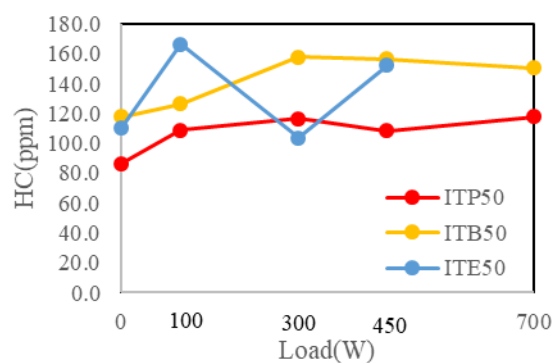


Fig.14 HC Emission(ITE50, ITP50, ITB50)

#### 4. 結論

本研究では、エタノール、1-プロパノール及び 1-ブタノールを基準燃料に添加した場合の、小型ガソリン機関における排気特性に及ぼす添加率及び混合割合等の影響について検討を行った。以下に結論を示す。

- (1) 小型ガソリン機関においては、エタノール、1-プロパノール及び 1-ブタノール添加により CO および HC 排出量の同時低減が可能である。
- (2) 小型ガソリン機関においては、低級アルコール系燃料の添加割合に、最適条件が存在する。

謝辞：本研究を進めるに当たり、様々なご指導ご鞭撻をいただきました川上忠重教授に心より感謝いたします。また、ワークショップの添田様、中村様、宮林様に於かれましては、実験装置の作成に大変なご尽力を頂戴し、厚く御礼申し上げます。さらに、研究の実施に際して、多くの協力をいただいた土井隆住氏、藤沼裕大氏をはじめとするエネルギー変換工学研究室の皆様にも深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 横田久司, “ガソリン給油ロスに VOC の排出について”, 大気環境学会誌, 第 47 巻, 第 5 号, 2012
- 2) 久保修一: ガソリンエンジンシステムにおける未燃炭化水素の生成・排出挙動解析, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol. 30, No. 2, 1995
- 3) 中山慎之介, 川上忠重, 櫻井朝啓, 賈昊林, “トルエン及びエタノール添加による小型ガソリン機関の排気特性に関する研究”, 山梨講演会 2020 講演論文集 2020
- 4) 伊藤慎吾, 進藤颯太, 川上忠重, “小型ガソリン機関の排気特性に及ぼす燃料性状の影響について”, 日本機械学会関東支部 第 25 期総会・講演会 講演論文集 2019